

УДК 656.11.021.2

**С. Г. СЕЛЕВИЧ**, канд. техн. наук, доц. НТУ «ХПИ»

## **ВЗВЕШЕННАЯ МЕДИАННАЯ ФИЛЬТРАЦИЯ ДЛЯ КРАТКОСРОЧНОГО ПРОГНОЗИРОВАНИЯ СКОРОСТЕЙ ТРАНСПОРТНЫХ ПОТОКОВ**

В статье предложена модель краткосрочного прогнозирования скоростей транспортных потоков регрессионного типа, а также выполнена перекрестная проверка результатов прогнозирования.

**Ключевые слова:** скорость, прогнозирование, поток.

### **Введение**

В настоящее время одной из основных проблем крупных городов является проблема организации дорожного движения с целью компенсации роста автомобилизации и повышения эффективности использования исторически сложившейся улично-дорожной сети. Частичного улучшения ситуации можно достичь внедрением АСУДД [1], логика работы которых, как правило, сводится к поддержанию в рамках заранее заданных ограничений одной или нескольких характеристик транспортного потока на основании краткосрочного прогноза. При этом адекватность и необходимая полнота исходных данных для решения задач прогнозирования, может быть обеспечена лишь централизованными системами GPS-мониторинга [2,3], а построенные на их основе прогнозные модели, как следствие, способны обеспечить приемлемую достоверность.

### **Анализ публикаций**

Преимущественно в работах по прогнозированию транспортных потоков рассмотрены следующие подходы: построение линейных регрессионных моделей по предыстории наблюдений [4], использование нейронных сетей [5], фильтрации по Калману [6], теории равновесия [7], сравнение различных подходов и альтернативные предложения на основании их комбинации [8]. Стоит отметить, что для задач, решаемых АСУДД, применяются модели краткосрочного прогнозирования, позволяющие сделать «предсказание» на 15-ти минутный и/или получасовой интервал, а основными критериями выбора в пользу той или иной модели, служат: величина ошибки прогнозирования и трудоёмкость получения прогноза.

### **Цель работы и постановка задачи**

Целью данной работы является построение относительно простой, требующей минимума вычислений, прогнозной модели скорости транспортных потоков регрессионного типа на основании имеющихся данных автомобильных GPS-навигаторов, а также оценка погрешности результатов.

### **Методика построения регрессионной модели**

Как уже отмечалось в работе [2] одной из основных проблем, возникающей в ходе предварительной обработки является неоднородность данных. Для снижения влияния неоднородности все участки улично-дорожной сети были приведены к 15-ти минутным временным интервалам и разбиты на 9 кластеров в зависимости от величины среднеквадратического отклонения скорости, признака дня недели (выходной/рабочий) и временного интервала.

© С. Г. Селевич, 2013

Средняя величина скорости движения  $V_{am}$  на  $-ом$  участке в день с порядковым номером  $d$  на протяжении  $t$ -го временного интервала вычисляется с помощью медианой фильтрации имеющихся измерений скорости на этом же участке в предыдущие моменты времени в день прогноза и в предыдущие дни в интервале времени, охватывающем время прогноза:

$$V_{am}^{r}_{d,t} = AvgWeightMed_{i=0..n_d, j=0..2 \cdot n_t} (V_{d-i,t+n_t-j}^r), \quad (1)$$

где:  $V$  – скорость движения;  $n_d$  – глубина обработки по дням;  $n_t$  – глубина обработки по времени;  $AvgWeightMed$  – операция вычисления взвешенной медианы [9].

В качестве весов в функции  $AvgWeightMed$  используется коэффициент «похожести» прогнозного дня на  $d - i$  день, вычисляемый по формуле:

$$W_{d1,d2} = \frac{1}{\sqrt{\frac{1}{n_t \cdot n_r - 1} \sum_{i=1..n_t} \sum_{j=1..n_r} (V_{d1,i}^j - V_{d2,i}^j)^2}}, \quad (2)$$

где:  $V_{d,i}^j$  – средняя скорость движения на  $-ом$  участке улично-дорожной сети в день с порядковым номером  $d1$  на протяжении  $i$ -го временного интервала;  $n_t$  – общее количество временных интервалов, для которых имеются одновременно скорости движения на одних и тех же участках в день  $d1$  и день  $d2$ ;  $n_r$  – общее количество участков, для которых имеются одновременно скорости движения на одних и тех же временных интервалах в день  $d1$  и день  $d2$ .

Модель, основанная на использовании взвешенной медианы достаточно проста в реализации, в то время как вычисление матрицы весовых коэффициентов  $W$  может быть выполнено заблаговременно.

На участках с относительно малым числом имеющихся измерений выполнялась корректировка прогноза с целью учета средней скорости внутри соответствующего кластера:

$$V_{pr}^{r}_{d,t} = \frac{V_{am}^{r}_{d,t} \cdot Nam + V_{cl} \cdot K}{Nam + K}, \quad (3)$$

где:  $V_{pr}^{r}_{d,t}$  – прогнозная скорость движения на  $-ом$  участке улично-дорожной сети в день  $d$  на протяжении  $t$ -го временного интервала;  $Nam$  – количество измерений, принимающих участия в вычислении взвешенной медианы по формуле (1);  $V_{cl}$  – средняя скорость по всем имеющимся измерениям внутри кластера;  $K$  – коэффициент, используемый для настройки модели.

### Настройка параметров и проверка регрессионной модели

Для получения числовых значений параметров регрессионной модели и оценки её точности была использована одна из модификаций методов перекрестной проверки – «holdout-validation» [10]. В ходе которой, имеющиеся данные были разделены на две части: расчетную и контрольную выборки. В расчетную выборку вошли 60% данных

общей выборки. С использованием данных расчетной выборки были определены варьируемые коэффициенты для 15-ти минутного прогноза:

Таблица 1 – Коэффициенты регрессии

Номер кластера	I	II	III
Глубина обработки по дням в формуле (1), $n_d$	3	6	3
Глубина обработки по времени в формуле (1), $n_t$	2	3	1
Диапазон применения формулы (3)		для $N_{am} \leq 5$	для $N_{am} \leq 5$

Полученные коэффициенты регрессии были проверены внутри соответствующих кластеров с использованием данных полной выборки. Результаты проверки приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Оценка параметров прогнозной модели

Номер кластера	I	II	III
Средняя ошибка прогноза, км/ч	-0,5	-1,5	-4
Среднеквадратическое отклонение ошибки прогноза, км/ч	11	13	15
Среднее число измерений, участвовавших в прогнозе	12	3	9

Наименьшая величина средней ошибки была получена для I-го кластера, где среднеквадратическое отклонение скорости движения минимально. При этом ошибка прогноза, в некоторых случаях, особенно для дорог с малым числом измерений, составляет до 40% от значения скорости на участке. Также следует отметить, что для всех кластеров средняя ошибка отрицательна.

### Вывод

Краткосрочное прогнозирование скорости движения с использованием взвешенного медианного фильтра дает достаточно достоверные результаты и не требует большого объема вычислений. Указанные свойства создают предпосылки к использованию предложенного подхода в составе АСУДД.

**Список литературы:** 1. *Абрамова Л.С.* Модели управления дорожным движением для АСУДД // Автомобильный транспорт : сб. научн. тр. – Харьков : ХНАДУ. – 2010. – Вып. 50. – С. 57–63. 2. *Селевич С.Г.* Методика предварительной обработки данных автомобильных GPS-навигаторов для решения задач прогнозирования транспортных потоков // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Збірник наукових праць. Серія: Автомобіле- та тракторобудування. – Х. : НТУ «ХПІ». – 2012. – № 64 (970). – С. 92-97. 3. *J. C. Herrera, et al.*, “Evaluation of Traffic Data Obtained via GPS-Enabled Mobile Phones: The Mobile Century Field Experiment,” Transportation Research Part C, Vol. 18, No. 4, 2010, pp. 568-583. 4. *Sun, H., Liu, H., Xiao, H., He, R., and Ran, B.*

Short Term Traffic Forecasting Using the Local Linear Regression Model. Journal of Transportation Research Board, 1836, pp. 143–150, 2003. **5.** *Yasdi, R.*, Prediction of road traffic using a neural network approach. Neural Computation and Application, Volume 8, Issue 2, pp 135-142, 1999. **6.** *Guo, J. and B. M. Williams.* Real-time short-term traffic speed level forecasting and uncertainty quantification using layered kalman filters. Transportation Research Record, vol. 2175, 2010, pp. 28–37. **7.** *Min, W. and L. Wynter.* Real-time road traffic prediction with spatio-temporal correlations. Transportation Research Part C, vol. 19, 2011, pp. 606–616. **8.** *Пупырев, С.* Прогнозирование загруженности автомобильных дорог / *С. Пупырев, А. Пронченков* // IV Российская летняя школа по информационному поиску RuSSIR'2010, 13-18 сентября 2010 г.: труды Четвертой Российской конференции молодых ученых по информационному поиску. — Воронеж : Издательско-полиграфический центр Воронежского государственного университета, 2010. — С. 64-78. **9.** *Yin L., Yang R., Neuvo Y.* Weighted median filters: a tutorial // IEEE transactions on circuits and systems. – 1996. – Vol. 43, No. 3. – P. 157-191. **10.** Traffic Flow Dynamics: Data, Models and Simulation. *Treiber M., Kesting A.* // 2013, VIII, 503p. 194 illus., 54 in color., Hardcover, ISBN 978-3-642-32459-8. – pages 333 – 337.

*Надійшла до редколегії 20.05.2013*

УДК 656.11.021.2

**Взвешенная медианная фильтрация для краткосрочного прогнозирования скоростей транспортных потоков / С. Г. Селевич** // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Автомобіле- та тракторобудування, 2013. – № 30 (1003). – С. 62–65. – Бібліогр.: 10 назв.

У статті запропоновано модель короткострокового прогнозування швидкостей транспортних потоків регресійного типу, а також виконана перехресна перевірка результатів прогнозування.

**Ключевые слова:** швидкість, прогнозування, потік.

Regression-type model of short-term traffic flows forecasting was proposed and holdout-validation of the results was made.

**Keywords:** velocity, forecasting, flow.